

Komparasi Akurasi Model Cellular Automata untuk Simulasi Perkembangan Lahan Terbangun dari Berbagai Variasi Matriks Probabilitas Transisi

Kasus: Bagian Timur Kota Yogyakarta

Muhammad Mangku Parasdyo

mangku.parasdyo@gmail.com

Bowo Susilo

bowosusilo@ugm.ac.id

Intisari

Tujuan dari penelitian ini adalah memetakan dan menganalisis perubahan penutup lahan di bagian timur kota Yogyakarta pada periode 2002, 2009 dan 2015 menggunakan klasifikasi multispektral dengan citra Landsat. Penutup lahan yang didapatkan dari hasil pemetaan digunakan untuk mengaplikasikan pemodelan Cellular Automata yang diintegrasikan dengan berbagai variasi matriks probabilitas transisi. Penelitian ini juga menilai secara kuantitatif akurasi yang dihasilkan oleh setiap variasi matriks probabilitas transisi untuk menemukan model matriks probabilitas transisi dengan akurasi terbaik. Hasil pemetaan menunjukkan luasan lahan terbangun tahun 2002 adalah 7.927,92 hektar yang kemudian bertambah menjadi 12.081,06 hektar pada 2015. Perubahan cenderung mengarah ke utara daerah kajian. Model cellular automata dari berbagai variasi matriks probabilitas transisi menghasilkan 12 model dengan karakteristik bentuk, distribusi dan akurasi yang berbeda antara satu model dengan lainnya. Hasil komparasi akurasi model menunjukkan Model CA-MLP memiliki akurasi terbaik dengan nilai akurasi sebesar 86,83% dan indeks kappa sebesar 0,7116, sedangkan validasi kuantitas perubahannya memiliki hits sebesar 4,43%.

Kata kunci: Model Cellular Automata, Logistik biner, MLP, SMCE AHP, Kota.

Abstrack

The purpose of this study is to map and analyze land cover changes in the eastern part of Yogyakarta in 2002, 2009 and 2015 using multispectral classification and Landsat images. The land cover maps used in this study are then used to implement Cellular Automata modelling integrated with variety of transition probability matrix. This study also aims to assess the accuracy generated by models with variation of the transition probability matrix, to see which model has the best accuracy. The results indicate that built up area in 2002 increased from 7,927.92 hectares to 12,081.06 hectares in 2015. The growth tend to be faster in the northern part of the study area than the other directions. Cellular automata models from various transition probability matrix produces 12 models with different characteristic of shapes, distributions, and accuracy. The accuracy comparison of the model shows that CA-MLP model has the best accuracy with an 86.83% of overall accuracy and 0.7116 of kappa index, while the quantity change validation had hits of 4.43%.

Keyword: Cellular automata model, Binary logistic, MLP, SMCE AHP, City.

Pendahuluan

Kota sebagai pusat aktivitas masyarakat terus berkembang dari waktu ke waktu. Pusat perkotaan yang telah padat menyebabkan pembangunan menyebar keluar dari pusat kota. Forman (1995) mendefinisikan proses transformasi perubahan lanskap perkotaan sebagai *urban*

growth. Salah satu bentuknya adalah ekspansi yaitu proses bertambahnya lahan terbangun. Proses Ekspansi yang intensif akan menyebabkan wilayah administratif tidak dapat menampung lonjakan pembangunan. Terbatasnya wilayah ini menyebabkan pembangunan lahan

terbangun harus mengalihkan perhatiannya ke daerah pinggiran kota.

Monitoring dan Pemodelan untuk memprediksi perkembangan lahan terbangun yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan perencanaan sehingga tujuan pembangunan yang berkelanjutan dapat tercapai. Data penginderaan jauh menjadi sumber data yang tepat untuk melakukan kajian studi perkotaan khususnya untuk monitoring dan pemodelan. Batty dan Howes (2001) mengungkapkan, data penginderaan jauh mampu mendeteksi dan mengukur berbagai elemen yang berkaitan dengan morfologi kota seperti luas, bentuk, kepadatan, pola sebaran dan dapat menyediakan data multitemporal.

Model Spasial yang dapat diterapkan untuk kajian perkembangan lahan terbangun adalah model *Cellular Automata* (CA). Model *Cellular Automata* dapat dihasilkan dari berbagai variasi model matriks probabilitas transisi yang berfungsi sebagai pendorong state untuk berubah ke state lain dalam kurun waktu yang ditentukan. Liu (2009) menyatakan bahwa aturan transisi dapat diperoleh dari model lain diantaranya adalah model matematis, model kecerdasan buatan, dan *model stochastic*.

Model yang sering digunakan dalam penelitian *Cellular Automata* untuk perkotaan adalah Model Regresi Logistik, MLP (*Multi Layer Perceptron*) dan SMCE-AHP (*Spatial Multi Criteria Evaluation-Analytical Hirarchical Procces*). Model *Cellular Automata* telah banyak di aplikasikan oleh peneliti lain, namun belum pernah diketahui perbandingan hasil dan informasi mengenai akurasi model *Cellular Automata* yang dihasilkan dari ketiga model matriks probabilitas transisi tersebut pada daerah kajian yang sama.

Yogyakarta dikenal sebagai kota pelajar dan kota pariwisata hal ini tentunya menimbulkan daya tarik tersendiri bagi masyarakat luar untuk datang dan tinggal di kota Yogyakarta. Ekspansi telah menyebar hingga pinggiran kota sehingga

menyebabkan terjadinya perubahan struktur pemanfaatan ruang desa-desa terutama di bagian timur Kota Yogyakarta

Penelitian ini bertujuan memetakan dan menganalisis perubahan penutup lahan pada periode 2002, 2009 dan 2015. Penutup lahan yang didapatkan dari hasil pemetaan dan analisis kemudian dapat digunakan sebagai input untuk mengaplikasikan pemodelan *Cellular Automata* yang diintegrasikan dengan berbagai variasi matriks probabilitas transisi, serta menilai secara kuantitatif akurasi yang dihasilkan oleh setiap variasi matriks probabilitas transisi untuk menemukan model matriks probabilitas transisi dengan akurasi terbaik.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan berbagai macam data, diantaranya adalah citra resolusi menengah, yaitu Landsat 7 ETM+ tahun 2002, Landsat 5 TM tahun 2009 dan Landsat 8 OLI tahun 2015. Data Peta rupabumi Indonesia skala 1:25.000 dan Citra resolusi tinggi digunakan untuk identifikasi parameter yang mempengaruhi perkembangan lahan. Parameter yang dianggap berpengaruh pada perubahan penutup lahan antara lain adalah: jarak terhadap jalan utama, jarak terhadap jalan lokal, jarak terhadap pusat kegiatan, jarak terhadap sungai, jarak terhadap permukiman eksisting dan kemiringan lereng.

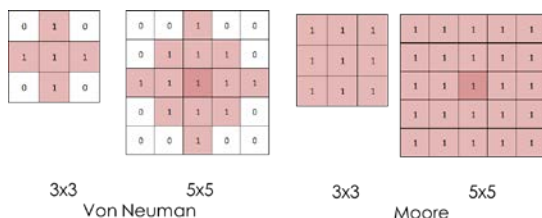
Informasi penutup lahan didapatkan dari klasifikasi multispektral citra resolusi menengah. Klasifikasi dilakukan dengan memanfaatkan algoritma *maksimum likelihood*. Hasil akhir klasifikasi merupakan informasi penutup lahan yang terdiri dari dua kelas yaitu lahan terbangun dan non terbangun.

Analisis perubahan penutup lahan secara spasial dilakukan dengan tabulasi silang penutup lahan antar periode tahun untuk mengetahui sebaran lokasi perubahan secara visual. Besaran lahan berubah beserta arah perubahan ditentukan dengan analisis *polynomial*, sehingga didapatkan nilai indeks perubahan lahan.

Pemodelan *Cellular Automata* untuk perkembangan lahan terbangun menggunakan 4 input yang terdiri dari 1) Penutup lahan dasar 2) Matriks area transisi. 3) Ketetanggaan. 4) Matriks probabilitas transisi. Penutup lahan dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah penutup lahan tahun 2009.

Matriks area transisi merupakan matriks yang menunjukkan probabilitas dan luasan suatu kategori penutup lahan yang mungkin berubah menjadi kategori penutup lahan lainnya. Matriks area transisi diperoleh dari proses stokastik, di mana perubahan variabel di masa mendatang dapat diprediksi dengan melihat perubahan variabel di masa lalu. Matriks Area transisi di dapatkan dari analisis markov. Input analisis markov adalah luasan perubahan antara tahun 2002-2009 yang kemudian digunakan untuk memprediksi perubahan di tahun 2015.

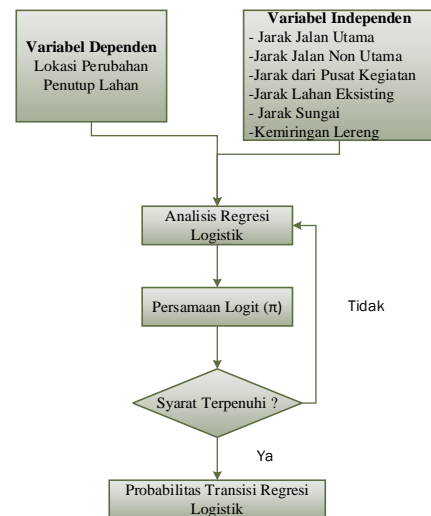
Ketetanggaan disini didefinisikan sebagai sel yang berdekatan dengan sel yang bersangkutan. Ketetanggaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ketetanggaan Moore dan Von Neuman dengan ukuran 3x3 dan 5x5 (gambar 1).



Gambar 1. Jenis dan ukuran ketetanggaan

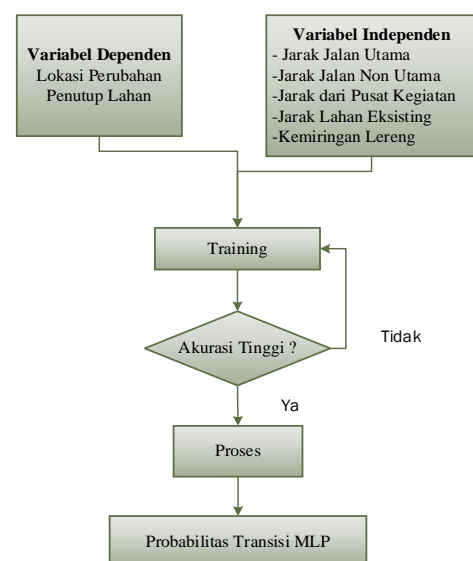
Matriks probabilitas transisi berfungsi sebagai pendorong state untuk berubah ke state lain dalam kurun waktu yang ditentukan. Model matriks area transisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Logistik biner, MLP dan SMCE AHP. Input yang diperlukan dalam pembuatan matriks probabilitas transisi adalah Perubahan penutup lahan periode 2002-2009, dan parameter perubahan penutup lahan. Keduanya akan menjadi variabel dependen dan independen untuk mendapatkan probabilitas transisi.

Skema kerja pembuatan matriks transisi area logistik biner dapat dilihat pada gambar 2.



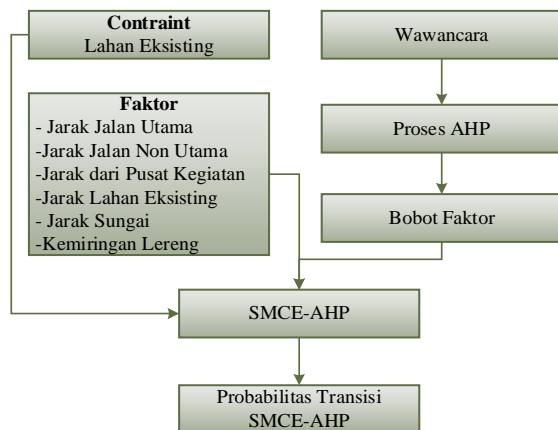
Gambar 2. Skema matriks area transisi logistik biner

Skema kerja pembuatan matriks probabilitas transisi dengan menggunakan Model MLP dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Skema matriks area transisi MLP

Matriks probabilitas transisi yang diperoleh dari model SMCE-AHP dapat dilihat skema kerjanya pada gambar 4. Selain menggunakan parameter perubahan lahan. Bobot faktor yang didapat dari proses AHP diperoleh dengan melakukan wawancara kepada responden kunci.



Gambar 4. Skema matriks area transisi

Hasil pemodelan cellular automata perlu dilakukan uji akurasi model. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan peta referensi. Penutup lahan tahun 2015 digunakan sebagai peta referensi. uji akurasi model juga dilakukan perhitungan kuantitas perubahan untuk menghitung kuantitas dan distribusi area yang terkena pengaruh pemrosesan model. Hasil validasi kuantitas perubahan diperoleh 5 kelas baru yaitu *input error* dimana input dan model menghasilkan lahan terbangun namun kenyataan dilapangan adalah lahan terbangun. *False alarm* adalah lahan yang salah termodelkan menjadi lahan terbangun. *Misses* adalah lahan yang seharusnya berubah menjadi terbangun

namun tidak berubah. *Hits* adalah lahan yang tepat termodelkan menjadi lahan terbangun. *Correct rejection* merupakan penutup lahan yang tidak berubah sama sekali.

Hasil dan Pembahasan

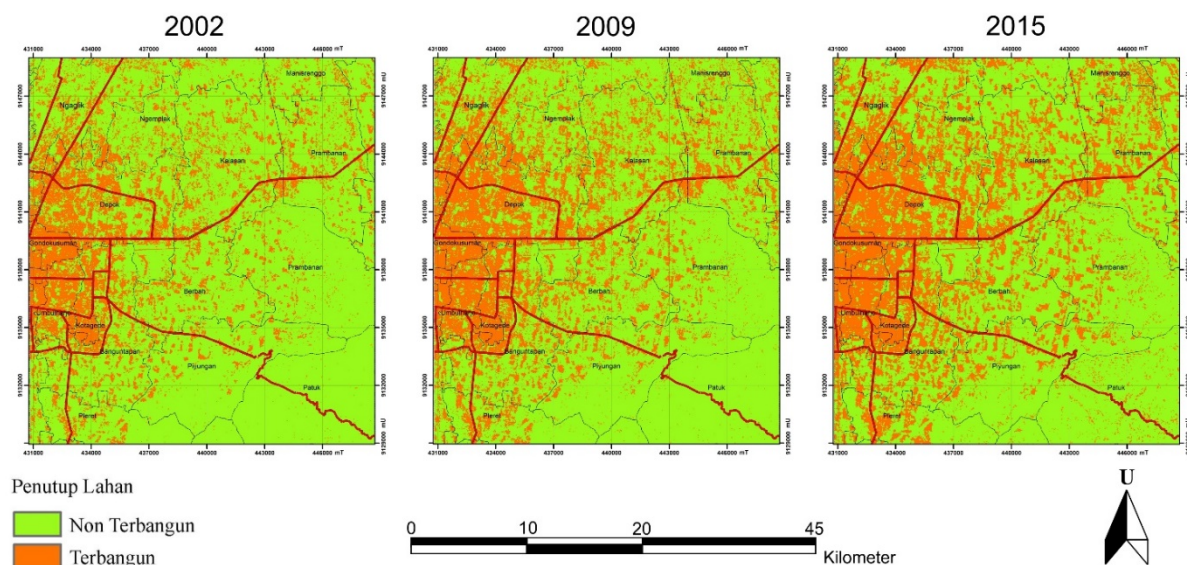
Klasifikasi multispektral penutup lahan yang telah disederhanakan menjadi dua kelas penutup lahan yaitu berupa lahan terbangun dan non terbangun dapat dilihat hasilnya pada Gambar 5. Terlihat penutup lahan non terbangun merupakan penutup lahan yang dominan di daerah kajian. Perubahan luasan penutup lahan secara mudah dapat dikenali secara visual. Hasil analisis data tabular untuk luasan penutup lahan dapat dilihat pada tabel 1. Terjadi peningkatan luasan penutup lahan terbangun dari sebelumnya seluas 7.927,92 hektar pada tahun 2002 bertambah menjadi 10.301,4 hektar yang akhirnya meningkat menjadi 12.081,06 hektar di tahun 2015.

Tabel 1

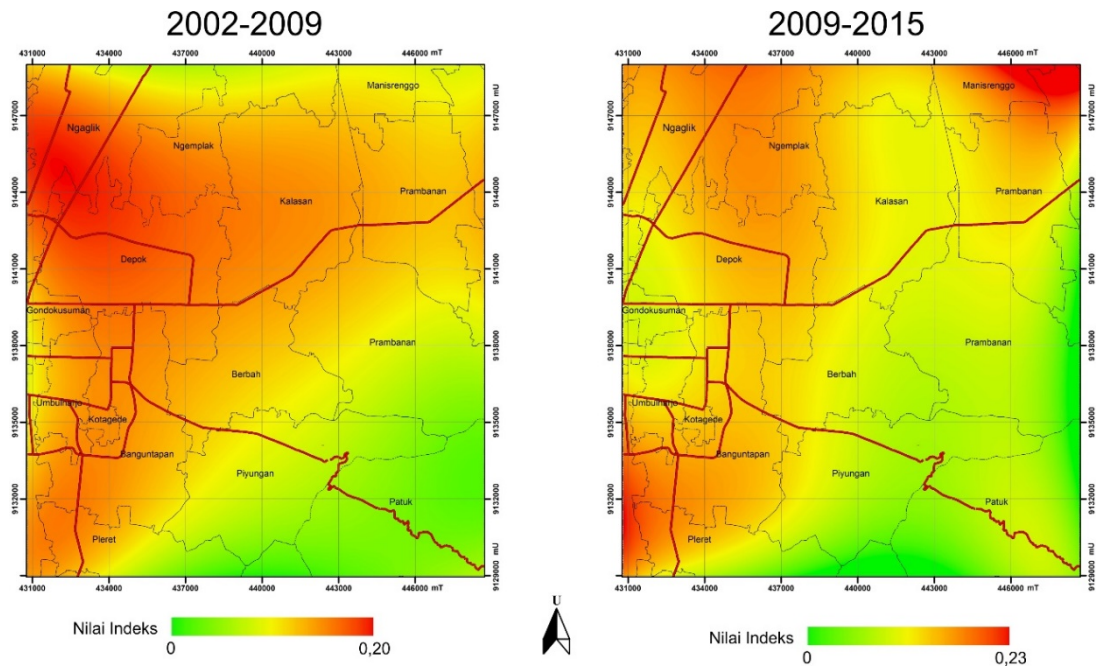
Luasan penutup lahan daerah kajian

Penutup Lahan*	Tahun		
	2002	2009	2015
Non Terbangun	28.017,45	25.623,27	23.776,92
Terbangun	7.927,92	10.301,40	12.081,06

*satuan luas dalam hektar



Gambar 5. Penutup Lahan Multitemporal Daerah Kajian



Gambar 6. Indeks perubahan Penutup Lahan Daerah Kajian

Arah perubahan penutup lahan periode 2002-2009 mengarah ke barat laut daerah kajian atau utara Kota Yogyakarta. Hal ini dapat dilihat dari hasil interpolasi polynomial pada gambar 6. Perkembangan diwakili oleh nilai indeks yang didapat dari besarnya perubahan lahan. Semakin besar nilai indeks maka semakin besar perubahan yang terjadi. Daerah yang terletak di barat laut memiliki indeks dengan nilai tinggi. Perubahan penutup lahan terbesar berada di sekitar perbatasan antara Kecamatan Ngaglik dan Depok. Perubahan penutup lahan juga memiliki indeks yang cukup besar mengarah ke barat daya daerah kajian atau selatan Kota Yogyakarta, namun area yang berubah tidak sebesar daerah yang berada di utara Kota Yogyakarta. Kebanyakan perubahan mengelompok di sekitar ruas jalan utama kota Yogyakarta kecuali Jalan Wonosari.

Perubahan periode 2009-2015 memiliki nilai indeks berkisar antara 0-0,23. Terlihat perubahan paling banyak berada di Timur Laut daerah kajian yaitu kecamatan Manisrenggo. Bagian selatan Kota Yogyakarta juga terlihat adanya perubahan yang cukup besar di Sekitar Kecamatan Sewon dan Banguntapan. Kecamatan lain seperti Depok, Ngaglik,

Kalasan, dan Berbah yang pada periode sebelumnya merupakan kecamatan dengan perubahan yang paling besar, pada periode ini perubahannya menurun. Hal ini dapat disebabkan karena pembangunan perumahan telah menyebar ke kecamatan lain di sekitar kecamatan tersebut. Faktor keterbatasan lahan dan tingginya nilai lahan yang ada di kecamatan tersebut menjadi salah satu penyebab pembangunan beralih ke daerah disekitarnya yang belum terlalu berkembang pada periode sebelumnya.

Matriks area transisi yang diperoleh dari hasil analisis markov dapat dilihat pada tabel 2. Agar tidak terjadi perubahan dari lahan terbangun menjadi non terbangun pada hasil prediksi maka probabilitas perubahan tersebut di beri nilai 0 (nol). Probabilitas transisi yang diperoleh tersebut adalah prediksi untuk 7 tahun mendatang.

Tabel 2
Probabilitas area transisi

Penutup Lahan		Prediksi	
		Non Terbangun	Terbangun
Input	Non Terbangun	0,8681	0,1318
	Terbangun	0	1

Penelitian ini melakukan prediksi untuk tahun 2015. Selisih antara penutup lahan 2009 dengan tahun prediksi hanyalah

Tahun	Non Terbangun ke Terbangun
2009	0
2010	0,0396
2011	0,0588
2012	0,0666
2013	0,0776
2014	0,0960
2015	0,1141
2016	0,1318

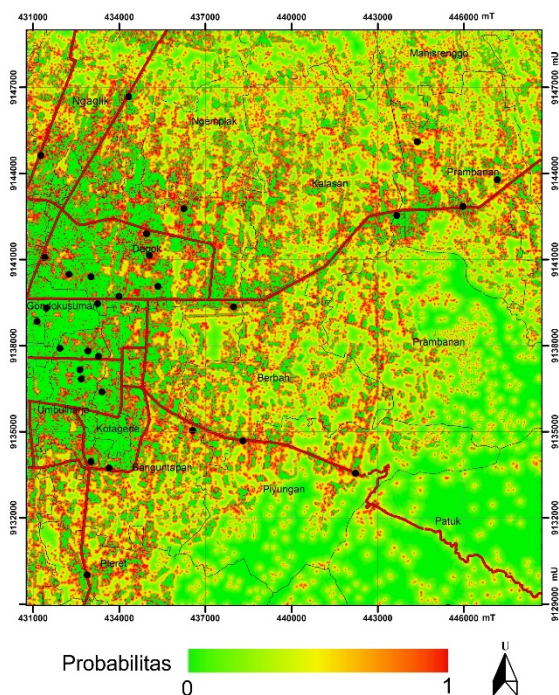
Normalisasi Interval Probabilitas Area Transisi

Tahun	Non Terbangun ke Terbangun
2009	0
2010	0,0396
2011	0,0588
2012	0,0666
2013	0,0776
2014	0,0960
2015	0,1141
2016	0,1318

.Perhitungan logistik biner diperoleh dengan menggunakan *software* IDRISI Selva dengan variabel dependen yang digunakan adalah perubahan penutup lahan dari non terbangun ke terbangun pada periode 2002-2009 dan variabel dependen yang terdiri dari parameter perubahan penutup lahan. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Keterangan:

Perubahan-perubahan yang terjadi pada lahan dan vegetasi dipengaruhi oleh perubahan-perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Perubahan-perubahan iklim ini dapat mempengaruhi pola distribusi dan pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana perubahan-perubahan iklim ini mempengaruhi lahan dan vegetasi. Salah satu cara untuk memahami ini adalah dengan melakukan penelitian tentang perubahan-perubahan iklim dan dampaknya terhadap lahan dan vegetasi. Penelitian ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan, dengan menggunakan data satelit, atau dengan melakukan simulasi komputer. Dengan melakukan penelitian ini, kita dapat memahami lebih baik bagaimana perubahan-perubahan iklim ini mempengaruhi lahan dan vegetasi, dan kita dapat mengambil tindakan yang tepat untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan-perubahan iklim ini.



Gambar 7. Matriks Probabilitas Transisi Logistik Biner

Probabilitas perubahan dengan Metode *Multilayer Perceptron* didapatkan dengan melakukan *training* dengan variabel dependen dan independen. Jaringan saraf tiruan (JST) memiliki kemampuan untuk mengenali sesuatu yang pernah dialami

Proses pembelajaran dengan MLP untuk menghasilkan probabilitas transisi dilakukan dengan cara *trial & error* untuk menghasilkan probabilitas dengan akurasi yang tinggi dengan RMS yang rendah. Pembelajaran MLP dilakukan dengan mengganti variasi *layer nodes*, *iterasi*, dan *learning rate*, sedangkan *Momentum faktor* = 0,5, *sigmoid constant* = 1 dalam kondisi konstan.

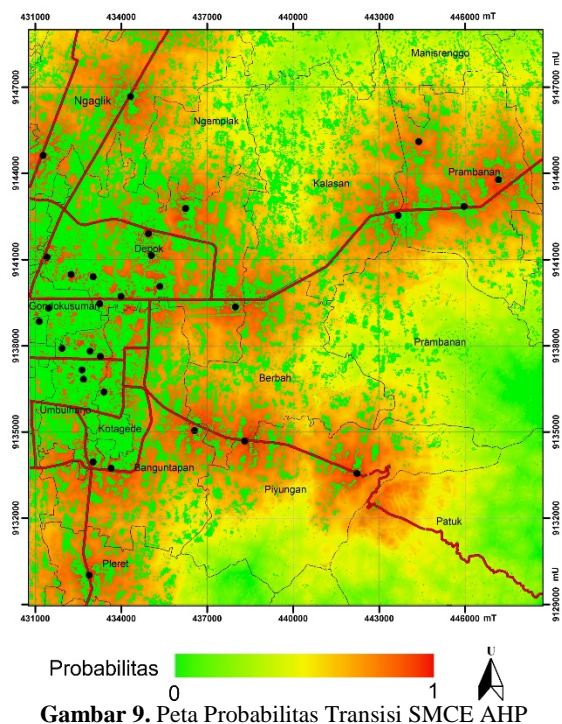
Probabilitas transisi dari Model SMCE-AHP diperoleh aljabar berbagai

Hasil analisis AHP menghasilkan bobot faktor sebagai berikut:

Kriteria	Bobot	Ranking
Jarak Terhadap Jalan Utama	13,3%	3
Jarak Terhadap Jalan Lokal	13,3%	4
Jarak Terhadap Pusat Kegiatan	42,9%	1
Jarak Terhadap Permukiman Eksisting	18,5%	2
Jarak Terhadap Sungai	6,9%	6
Kemiringan Lereng	5,1%	5
<i>Lambda (λ)</i>	: 6,186	
<i>Consistency Ratio (CR)</i>	: 3,0 %	
<i>Consensus</i>	: 80,9 %	

Persyaratan agar hasil analisis AHP dapat digunakan untuk pemodelan adalah nilai CR hasil analisis bernilai kurang dari 10%. Nilai CR dari perhitungan didapatkan nilai 3%, sehingga hasil perhitungan AHP tersebut dapat digunakan untuk pemodelan. Analisis AHP juga menghasilkan nilai *Consensus* ukuran tingkat kesepakatan antar responden terhadap parameter perubahan penutup lahan, semakin besar nilai *consensus* menandakan besar kesepakatan antar responden. *Consensus* dari responden terhadap parameter perubahan lahan memiliki nilai sebesar 80,9%, sehingga terdapat kesepakatan antar responden terhadap faktor yang mempengaruhi perubahan lahan. Hasil Matriks Probabilitas Transisi yang dihasilkan dari SMCE-AHP dalam bentuk

raster dapat dilihat pada gambar 9. Probabilitas transisi dengan nilai mendekati 1 lebih banyak mengelompok di sekitar pusat kegiatan dan jalan utama.

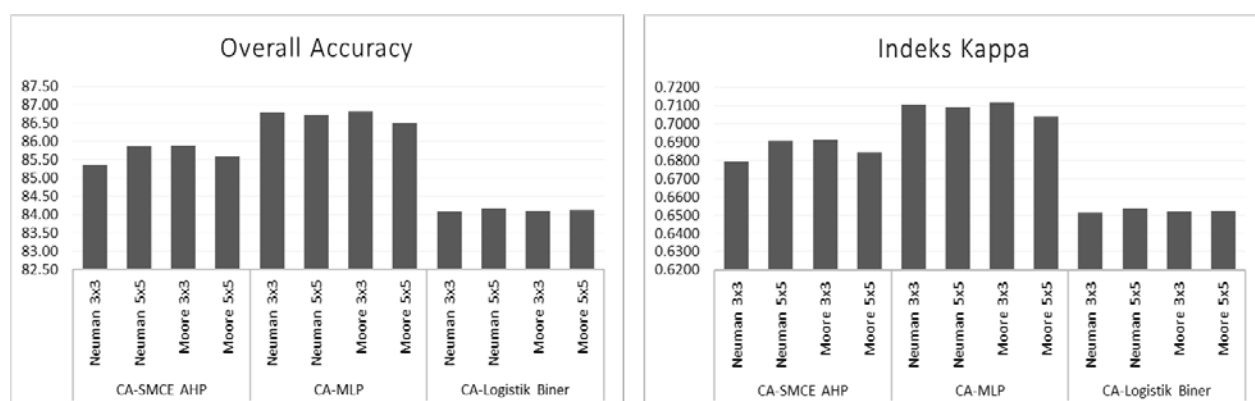


Gambar 9. Peta Probabilitas Transisi SMCE AHP

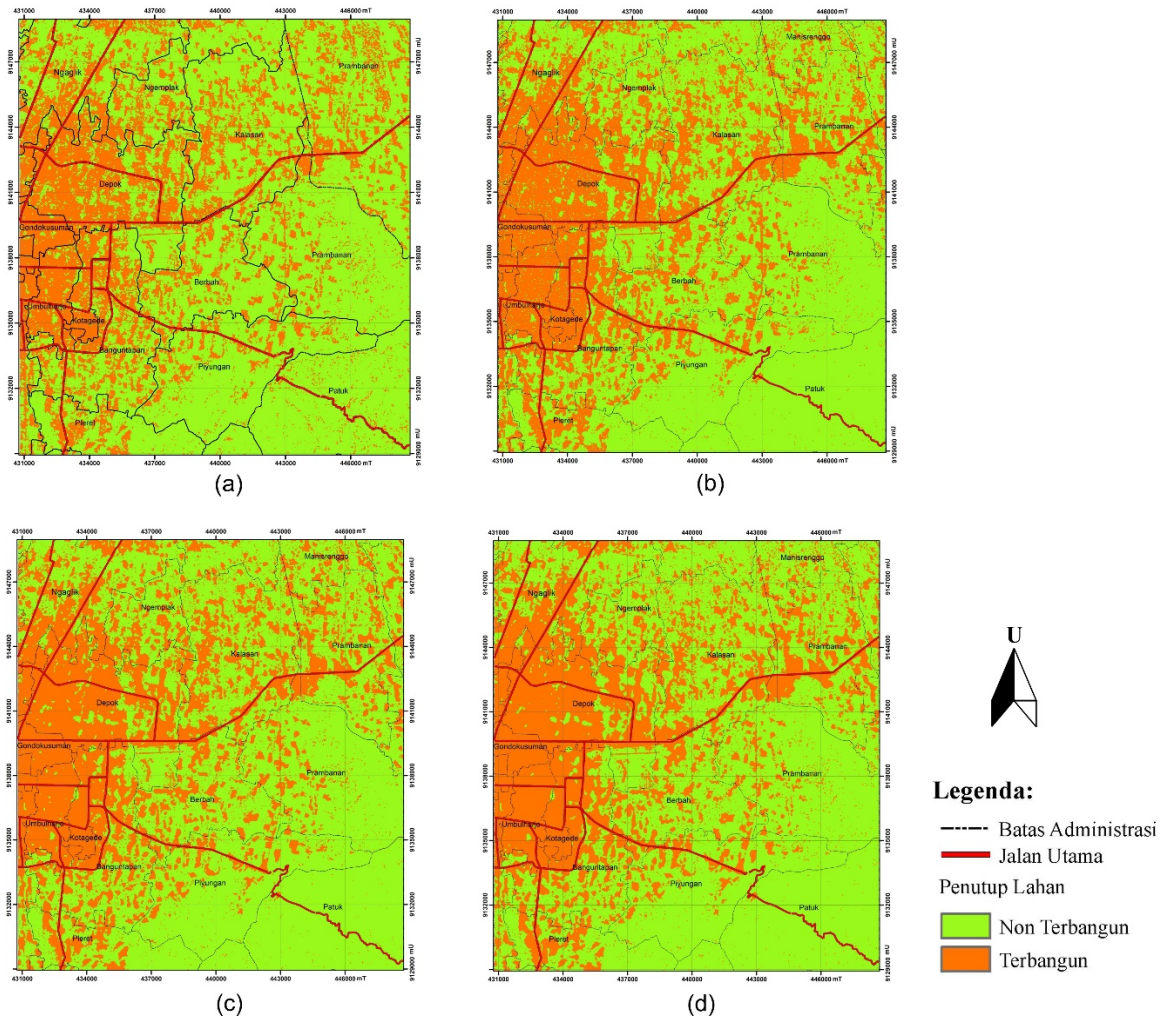
Pemodelan Cellular automata yang dihasilkan pada penelitian berjumlah sebanyak 12 model. Jumlah tersebut diperoleh dari skenario variasi matriks probabilitas transisi yang juga divariasikan dengan jenis dan ukuran ketetanggaan. Model memiliki bentuk, distribusi yang berbeda satu dengan yang lain. Hasil model kemudian di uji akurasi dengan menggunakan peta referensi. Hasil uji akurasi model dapat dilihat pada gambar

10. Model CA dengan variasi ketetanggaan memiliki akurasi yang bervariasi pada *overall accuracy* dan Indeks Kappa dengan nilai yang tidak terlalu berselisih jauh. Namun Model CA yang diperoleh dari variasi probabilitas transisi yang berbeda memiliki perbedaan akurasi yang cukup jauh. Akurasi untuk model logistik biner berkisar pada 84% dengan kappa 0,65. Model CA-SMCE AHP mempunyai akurasi pada rentang 85%. Model CA-MLP memiliki akurasi yang paling baik dibandingkan dengan Model CA lainnya dengan nilai akurasi diatas 86% dan nilai kappa diatas 0,7.

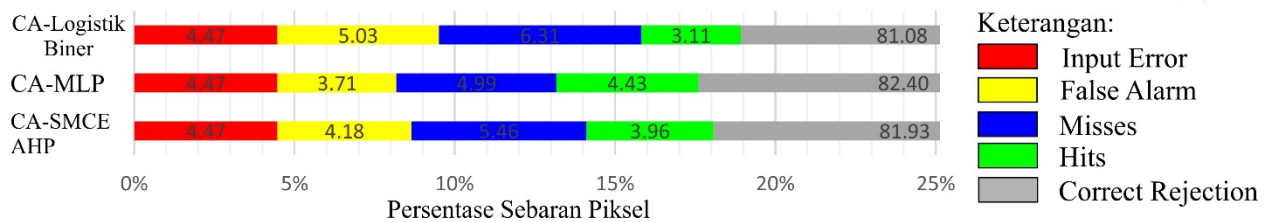
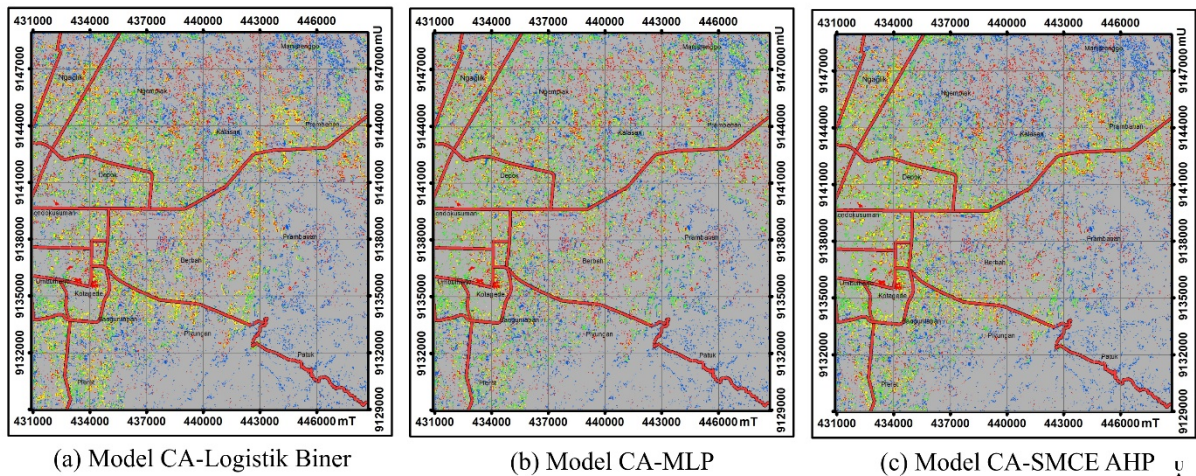
Model CA-Logistik Biner dengan akurasi terbaik didapat pada skenario ketetanggaan Von Neuman 5x5, sedangkan Model CA MLP memiliki akurasi terbaik pada ketetanggaan Moore 3x3. Adapun Model SMCE AHP memiliki akurasi terbaik pada ketetanggaan Moore 3x3. Visualisasi Hasil Model CA dengan akurasi terbaik dari setiap variasi probabilitas transisi beserta penutup lahan actual 2015 dapat dilihat pada gambar 11. Terlihat masing-masing model memiliki bentuk dan distribusi yang berbeda. Model CA-MLP cenderung distribusinya cenderung menyebar. Bentuk model CA bila dibandingkan dengan penutup lahan actual terlihat lebih kompak. Perbandingan antar hasil model terlihat model CA-SMCE AHP memiliki bentuk yang lebih kompak dibandingkan dengan model lain.



Gambar 10. Grafik Hasil Uji Akurasi Model Cellular Automata



Gambar 11. Penutup lahan aktual 2015 (a) dan Model CA dengan akurasi terbaik dari tiap variasi matriks probabilitas transisi: (b) CA-Logistik Biner (c) CA-MLP (d) CA-SMCEAHP



Gambar 12. Validasi Kuantitas Perubahan Model Cellular Automata

Pengujian akurasi dengan tabulasi silang dapat menimbulkan bias informasi, sebab nilai yang diperlihatkan adalah akurasi keseluruhan yaitu jumlah piksel benar setiap penutup lahan. Padahal belum tentu kesemua piksel tersebut bertransformasi menjadi penutup lahan lain pada periode selanjutnya. Oleh karena itu pada penelitian ini ditambahkan uji akurasi untuk kuantitas dan distribusi pada area yang terkena pengaruh akibat pemrosesan model. Validasi dapat dilakukan dengan melakukan tumpang susun antara penutup lahan awal, hasil pemodelan dan peta penutup lahan referensi.

Hasil validasi kuantitas perubahan dapat dilihat pada gambar 12. *Input Error* untuk semua hasil model CA konstan di angka 4,47%. *Input error* muncul akibat dari perambatan kesalahan dari hasil klasifikasi penutup lahan, ini tentunya memberi efek kepada hasil pemodelan. Model CA-Logistik biner memiliki nilai *hits* terendah dengan persentase 3,11% dan memiliki nilai *misses* tertinggi yaitu 6,31%. CA-MLP memiliki nilai *hits* tertinggi dengan persentase 4,43%. Persentase *false alarm* dan *misses* pada CA-MLP merupakan persentase terendah dengan nilai dibawah 5%. Adapun hasil *Correct Rejection* ditambah dengan *Hits* akan bernilai sama dengan akurasi keseluruhan.

Kemampuan MLP neural network dalam mengenali dan mengelaskan pola dari proses pembelajaran dapat menghasilkan model yang sifatnya non-linier, hal ini lebih unggul daripada hubungan yang bersifat linier yang seperti SMCE AHP. Selain itu MLP neural network dapat bekerja pada data yang mengandung banyak error dan data yang memiliki korelasi antar variabel.

Munculnya *misses* dan *false alarm* dalam persentase yang cukup besar ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Faktor pertama adalah adanya *error input* yang berpengaruh perhitungan statistik. Faktor kedua adalah generalisasi pada model menyebabkan tidak semua

parameter yang menyebabkan lahan berubah dimasukkan menjadi input model karena data tidak tersedia dan sulit di representasikan secara spasial.

Kesimpulan

1. Penutup lahan terbangun terus bertambah dari waktu ke waktu. Tercatat luasan lahan terbangun pada tahun 2002 adalah 7.927,92 Hektar. Tahun 2009 luasan lahan terbangun meningkat menjadi 10.301,4 hektar. Tahun 2015 kemudian bertambah menjadi 12.081,06 hektar dari keseluruhan area kajian. Arah perubahan penutup lahan cenderung mengarah ke utara daerah kajian.
2. Model cellular automata dari berbagai variasi matriks probabilitas tranisisi menghasilkan model dengan karakteristik bentuk, distribusi dan akurasi yang berbeda antara satu dengan lainnya.
3. Hasil komparasi akurasi diketahui bahwa Model CA-MLP memiliki akurasi yang paling baik dibandingkan dengan model CA-Logistik Biner dan CA-SMCE AHP. Model CA-MLP memiliki nilai akurasi sebesar 86,83% dengan indeks kappa sebesar 0,7116. Validasi kuantitas perubahan juga menyimpulkan CA-MLP memiliki akurasi tertinggi dengan *hits* sebesar 4,43%.

Daftar Pustaka

- Batty, M. & Howes D. 2001. Predicting temporal patterns in urban development from remote imagery. In: J.P. Donnay, M.J. Barnsley and P.A. Longley (eds.), *Remote Sensing and Urban Analysis*, Taylor and Francis, London and New York. 185–204.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Liu, yan. 2009. *Modelling Urban Development with Geographical Information Sistem and Cellular Automata*. NewYork: CRC Press.
- Takada, T., Miyamoto, A., Hasegawa, S., 2010. Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. *Landscape Ecology*. 25: 561-572.